

プラスチック光部品の コーティング課題を克服

ポール・マイヤー＝ワン、アラン・パーソンズ、シシリー・ラスメル

ポリマオプティクスの高性能コーティングは、適切な設計と製造アプローチを用いることで可能になる。

慎重派の光学エンジニアが一度は退けたが、プラスチックオプティクス（ポリマオプティクスとも呼ばれる）が、過去10～20年で真価を発揮するようになってきた。最先端の光学ポリマの導入と製造技術の改善により今では設計者は、ハイエンドガラス光学コンポーネントさえプラスチックで置き換えることができる。重量やコストはほんのわずかなるので、医療、産業、防衛、セキュリティアプリケーションでの利用が容易になっている（図1）。プラスチックに対する光学コーティング技術の進歩が、このような移行の決め手になった。基板材料の利用は全く異なるクラスのものであるが、光学的性能や耐久性はガラスに匹敵するレベルが可能になっている。

プラスチック、ポリマ基板への光学コーティングにはいくつか課題がある。プラスチックオプティクスは、ガラスで用いられる一般的な250℃のコーティング温度には耐えられない、また複合スペクトルプロファイル向けの数100層に必要な長時間の暴露にも耐えられない。プラスチックへの光学コーティングでは、適切に行わないと、層間剥離、剥離、剥落の傾向が一段と強くなる。特に過酷環境条件に晒される場合である。これは光学性能と環境性能が調和しないことである。所望のスペクトルプロファイルを達成するための層数の増加が、基板とコーティン



図1 ポリマオプティクスは、幅広い構成や材料で使われている。ポリマオプティクスのアプリケーションは、光学コーティングを必須とするものが多い。（提供：アキュコート社）

グとの間の応力増大に帰着するため、特に温度サイクル中に言えることである。

これらの競合する要件により、コーティングを行う場合、そのプロセスを最初から最後まで改良せざるを得なかった。特殊な洗浄、取り扱い、設計、さらにコーティング法の開発である。これらは各プラスチックタイプについて頻繁に行われている。こうした投資の結果として、経験豊富なベンダーのプラスチック光学コーティングは今では、ガラスで得られるものと同等の光学性能を生み出すことができる。ミラー、

フィルタ、ビームスプリッタ、ホットミラーに対する反射防止（AR）から、インジウムスズ酸化物（ITO）コーティングまで、コーティングされたプラスチックやポリマオプティクスは今では、最も厳しいMIL-SPECやISO試験スケジュールを普通にパスするのである。

成膜の冷却

ほとんどのプラスチックの比較的低い融点は、低温成膜プロセスを必要とする。プラズマイオンアシスト蒸着（plasma-IAD）、あるいはプラズマエッチング化学気相堆積法（PECVD）

プラスチック・ポリマ光部品へのコーティングは今では著しく耐久性が向上している

動作環境試験:

24時間湿潤暴露
10日間湿潤暴露
温度サイクル: $-62^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$
温度衝撃: $+23^{\circ}\text{C} / -57^{\circ}\text{C} / +71^{\circ}\text{C} / +23^{\circ}\text{C}$
適度の摩耗
溶着
塩溶解性(金属には不適)
塩水噴霧(金属には不適)

化学物質暴露試験:

防虫剤
貫通油
不凍液
炭素除去化合物
潤滑油
ライフル銃口洗浄化合物
真空ポンプオイル

注記: 全ての基板に対するコーティングが全試験をパスするわけではない

などである。基板の変形あるいは反りを防ぐために、 $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ の低い蒸着温度は珍しくない。特にアクリルのような柔らかな材料に言えることである。プラズマパラメータは、加減して光学パフォーマンスを微調整する、同様に表面特性を変えたり、環境性能に影響を与えるコーティング応力を変えたりする⁽¹⁾。

蒸着チャンバーの能動加熱がない場合でも、蒸着プロセス自体に一定程度の内在的な熱があるので、損傷を防ぐにはコーティング率(被膜率)に対する十分な注意が必要になる。チャンバーのスロー・ディスタンス(throw distance)が熱のコントロールに役立つ、違う材料を利用する場合も同様である。高屈折率層の中には、希土類の利用が定式化されているものもある。

確実な接着力

プラスチックまたはポリマへの光学コーティングの接着力は、ガラスの場合と比べるとそれほど強くない。光学部品自体の熱膨張係数の違いや厚さの変動が組み合わさると、環境性能に妥

協することなく蒸着できる層数に制限が出る。アルゴン(Ar)、ヘリウム(He)、あるいは窒素(N_2)の低圧プラズマを用いる前処理が、コーティング接着力、応力補償、機械的耐性を改善することが示されている。このプロセスは、コーティング準備で表面を洗浄しマイクロエッチするために役立つだけでなく、架橋結合および表面化学機能化も可能である⁽²⁾。

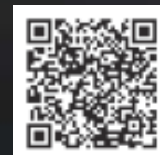
とは言え、大規模な前処理が常に必要というわけではない。バインダー層は、金などの金属コーティングの接着力向上の代替手段であるが、ZeonexやTOPASなど先進的環状オレフィン共重合体には、優れた接着特性を提供するものもある。

プラスチックの洗浄と取扱

プラスチック基板からコーティングされた高品質光部品を実現するのは、蒸着に先立つ部品の適切なクリーニングと取扱に大きく依存する。ガラスに比べると、ポリマ材料は簡単に傷がつくものが多く、適切にクリーニングしなければ接着力が落ちる。

先端診断装置の 開発に寄与する オプティクス

TECHSPEC® 高性能蛍光用 ダイクロイック ビームスプリッター



- 平面度、透過波面精度、及び表面品質を改善
- 蛍光顕微鏡や高倍率イメージングアプリケーション向けに最適
- 蛍光用やロングパスダイクロイックフィルターで最も一般的なカットオン波長のものをラインナップ

 **Edmund**
75 YEARS OF OPTICS

www.edmundoptics.jp/057-8156

エドモンド・オプティクス・ジャパン
株式会社

〒113-0021

東京都文京区本駒込2-29-24
バシフィックスクエア千石 4F

TEL: 03-3944-6210

Email: sales@edmundoptics.jp

ケーススタディ： 仮想現実機器(VR)用ホットミラー

ホットミラーは、仮想現実(VR:Virtual Reality)で使用され、目または位置追跡システムで使用される赤外光を反射し、可視光は通す。これらヘッドアップディスプレイ(HUD)オプティクスは軽量でなければならない、したがってプラスチックにコーティングされる。VRに

対する光学的要件は多様であるが、800～830nmの光を80～90%反射すること(図2)、レーザー光と可視光を非偏向ビームスプリットすることが含まれる。これらは両方とも今では、被覆プラスチック基板を用いて可能になっている。

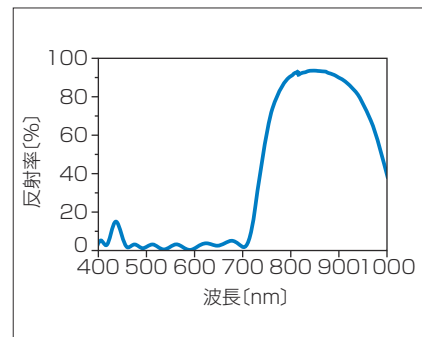


図2 仮想現実(VR)アプリケーションを対象としたプラスチックまたはポリマ基板上のホットミラーは、800～830nmスペクトル範囲に対して、45°入射角で高反射となるように設計され、可視光は効率よく透過される。

レンズ、プリズム、ウインドウなどのコンポーネントは一般に材料に特化した薬品や界面活性剤を用いて超音波洗浄し、続いて熱い純水で洗い流し、熱風乾燥させ、損傷を回避する。ハンドクリーニングも使われることがある。また、コーティングベンダーは、それぞれの経験を利用してベストの洗浄液を選択し、特殊なクリーニング問題あるいは接着問題を補正する。シートマテリアルは、コーティングに先立ち、損傷を回避し清浄度を確保するために独自の取り扱い法を必要としている、これは特殊フィクスチャーも同様である。

全てのプラスチックは同等に作られていない

恐らく、プラスチック基板に対するコーティングの最も複雑な側面は、利用可能な材料が極めて多様であり、複雑であること。それぞれが独自の化学的性質をもっている。それが、用いられるクリーニング、準備、蒸着プロセスと独自に影響し合い、それらが組み合わさってコーティング基板界面で応力となる。これは、特殊環境、あるいはMIL-SPEC試験をパスするために必要となるコーティングの光学性能を制約する。また、1つのタイプのプラス

チックまたはポリマで所定の試験をパスするコーティングが、同じプロセスを利用していると言うだけで他の試験をパスすることは保証されないということでもある、すべての基板形状あるいは形態について保証されるわけではないという意味でもある。

蒸着プロセスや層設計の開発が取り扱わなければならないのは、したがって、光学的な仕様、環境要件、基板形状、またパラメータに関連した基板材料の選択である。幅広いプラスチックタイプや形状のコーティングで広範囲の経験をもつコーティングパートナーは、設計プロセスの早い段階に貴重な助言を提供することができる。これによって、考えられる最高の光学性能をもつコンポーネントの製造可能な仕様を確保することができる。導入に先立ち、環境信頼性を証明するために各コンポーネントに求められる広範囲の試験を考えると、経験豊富なコーティン

グパートナーとのこのような協議プロセスは、主要な製品あるいはシステム開発の予定においてリスクを緩和する重要ステップである。

コーティングされたプラスチックオプティクスの導入は、以前は光学的性能と耐久性の中間的な選択を意味したが、ポリマ基板のクリーニングや蒸着プロセスの進歩が、このギャップを埋めた。ガラスで利用できる光学コーティングの大半は、今ではプラスチックで再現でき、MIL-SPECやISOの信頼性を備えている。経験豊富なコーティング専門家の管理下では、ガラスのコンポーネントのドロップイン置換品を造ることさえできる。そうすると、重量、切断コストが削減され、現場での亀裂や分裂に関わる安全性の問題が緩和される。過去10年でコーティングされたプラスチックオプティクスの性能と選択肢が著しく増加しているので、見直す価値があることは確かである。

参考文献

- (1) U. Schulz, P. Munzert, and N. Kaiser, Vak. Forsch. Prax., 17, S1, 26-29 (2005).
- (2) L. Martinu and D. Poitras, J. Vac. Sci. Technol. A, 18, 6, 2619-2645 (2000).

著者紹介

ポール・マイヤー＝ワンは社長、アラン・パーソンズは販売マネージャー、両者とも米アクューコート社(AccuCoat)に所属する。e-mail: alan@accucoatinc.com URL: http://accucoatinc.com シリール・ラスメルは米Mapleseed LLCのオーナー・社長。